

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA

EFICIENCIA ENERGETICA ELECTROMECHANICA EN SISTEMAS  
DE BOMBEO PARA POZO PROFUNDO EN OPERACION

-Límites y método de prueba-

*ESTUDIO COSTO BENEFICIO*

AGOSTO 1994

## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN EJECUTIVO .....  | 3  |
| 1. INTRODUCCIÓN .....  | 4  |
| 2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA ELECTROMECHANICA DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO ..... | 8  |
| 3. PROPUESTA DE VALORES MÍNIMOS DE EFICIENCIA EN OPERACIÓN .                               | 9  |
| 4. BASES PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA .....  | 11 |
| 4.1 Datos del Comité Consultivo Nacional de Normalización .....                            | 11 |
| 4.2 Descripción del proyecto de Norma Oficial Mexicana .....                               | 12 |
| 4.3 Beneficios .....   | 12 |
| 4.4 Costos .....   | 15 |
| 4.5 Beneficios netos potenciales (beneficios menos costos) .....                           | 15 |
| 4.6 Justificación de la emisión de la Norma Oficial Mexicana como mejor alternativa .....  | 16 |
| 5. EVALUACIÓN BENEFICIO-COSTO .....  | 16 |
| 5.1 Resultados de la evaluación .....  | 16 |
| 5.2 Análisis de sensibilidad .....   | 16 |
| 6. CONCLUSIONES .....  | 19 |
| REFERENCIAS .....  | 20 |
| ANEXOS   |    |

## RESUMEN EJECUTIVO

En este tercer informe se evalúan los impactos favorables y desfavorables del análisis beneficio-costos del anteproyecto de norma, realizado con un modelo económico desarrollado por el Departamento de Uso de Energía Eléctrica del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y revisado por personal de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). El Valor Presente Neto total (suma de beneficios del fabricante, usuario y CFE) es de 716 935 miles de N\$ obtenidos a partir de un ahorro de energía y potencia, para CFE, de 8 656 307 MWh y 1 026 MW, respectivamente; para un total de 22 500 pozos empleados en riego agrícola y que operan con eficiencias del 40% o inferiores.

Existen además de los beneficios cuantificables económicamente aquellos que no se pueden expresar en dinero, este es el caso de la reducción de las emisiones contaminantes y el ahorro de agua que deja de emplearse en la generación de energía eléctrica en centrales térmicas convencionales.

El análisis de sensibilidad muestra que los parámetros con mayor impacto en el resultado final son la inversión inicial y la disminución de la energía ahorrada, por su parte, el parámetro que menos impacto tiene es el costo público.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Programa Nacional de Desarrollo establece que es indispensable para el país un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, razón por la cual es necesario promover el uso racional de la energía eléctrica, siendo uno de los medios de conseguirlo el reglamentar la eficiencia energética de los sistemas de bombeo.

El empleo de bombas verticales tipo turbina (con motor externo y sumergibles) es importante en los servicios de agua potable y riego agrícola<sup>1</sup>, representando el 78 y 80%, respectivamente, del total de los equipos instalados para dichos servicios.

Para la determinación del potencial de ahorro de energía se recurrió a las estadísticas de equipos instalados actualmente proporcionadas por CFE y la Comisión Nacional del Agua (CNA). Para el caso de riego agrícola la definición del número de equipos es sencilla, ya que, la tarifa 9 es exclusiva de este servicio; no ocurre lo mismo para el caso de agua potable que independientemente de que en la tarifa 6 se incluye el bombeo de aguas negras, los grandes consumidores de este servicio se encuentran en las tarifas de media y alta tensión, por lo que, la determinación del número de usuarios es una tarea complicada. Por esta razón, el grupo de trabajo decidió analizar el impacto de la norma con los usuarios de la tarifa 9 y que los resultados, de ser satisfactorios, cubrirían el servicio de agua potable.

Debido a que los parámetros operacionales de las bombas son complejos y que estas no se fabrican en tamaños estándar, se han clasificado en cuatro intervalos en función de la potencia del motor eléctrico<sup>2</sup>, para lo cual, se tomó en cuenta el potencial de conservación de energía por intervalo, así como, el poder manejar fácilmente la información. Esta clasificación se muestra a continuación:

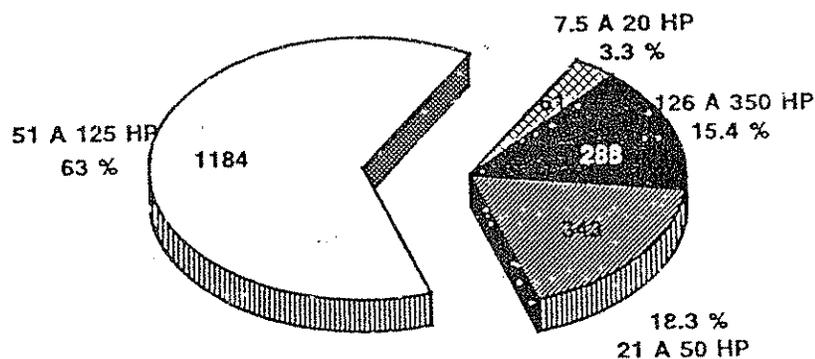
| CP        | kW           |
|-----------|--------------|
| 7.5 - 20  | 5.6 - 14.9   |
| 21 - 50   | 15.7 - 37.3  |
| 51 - 125  | 38.0 - 93.3  |
| 125 - 350 | 94.0 - 261.0 |

<sup>1</sup>Análisis de información e identificación de normas, Primer informe parcial No. 44209, proyecto IIE-5394, enero de 1994.

<sup>2</sup>Esta misma clasificación de intervalos de potencia la emplea el Departamento de Energía de Estados Unidos de Norte América (DOE por sus siglas en inglés), en el estudio que realizó en el año de 1980 para determinar las eficiencias de las bombas fabricadas en ese país.

Por otro lado, con base en una muestra de 1 876 pozos para riego agrícola localizados en 12 Estados de la República, se muestra en la figura 1 la distribución, en porcentaje, de los 4 intervalos de potencia en que se dividió el alcance total (7.5-350 CP).

**FIGURA 1. CANTIDAD DE EQUIPOS POR INTERVALO DE POTENCIA RIEGO AGRICOLA**  
(12 estados de la república, 1876 pozos)

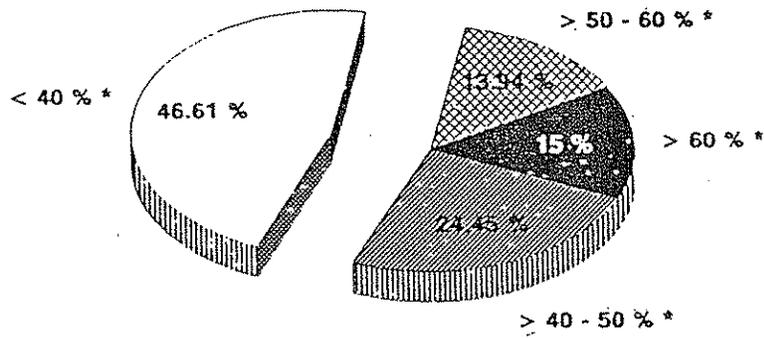


El porcentaje de equipos por intervalo de eficiencias promedio se muestra en la tabla 1, éstas también fueron divididas en 4 intervalos y el comportamiento de toda la muestra lo podemos observar en la figura 2.

Tabla 1. Participación de equipos (%) por intervalo de eficiencia y de potencias.

| Intervalo de potencias kW (CP) | % de participación de equipos por rango de eficiencia (%) |          |          |      | Número de equipos de la muestra |
|--------------------------------|---|----------|----------|------|---------------------------------|
|                                | ≤ 40  | >40 - 50 | >50 - 60 | > 60 |                                 |
| 5.6 - 14.9 (7.5-20)            | 50.0  | 31.0     | 8.0      | 11.0 | 61                              |
| 15.7 - 37.3 (21-50)            | 52.0  | 20.0     | 13.0     | 15.0 | 343                             |
| 38.0 - 93.3 (51-125)           | 46.3  | 26.6     | 14.1     | 14   | 1184                            |
| 94.0 - 261 (125-350)           | 43.3  | 20.5     | 16.3     | 19.9 | 288                             |

**FIGURA 2. EFICIENCIAS EN EQUIPOS DE BOMBEO EN OPERACION**  
**RIEGO AGRICOLA**  
 (12 estados de la republica, 1876 pozos)



\* INTERVALOS DE EFICIENCIA

Los valores de eficiencia promedio de cada uno de los 4 intervalos mostrados en la figura 2 están en la tabla 2, junto con otros datos importantes. De un análisis mas detallado de la información podemos observar que, de los 78 085 usuarios que registró la tarifa 9 en 1992 el 80% son pozos con bomba vertical tipo turbina (62 468) y de éstos, el número de equipos por rango de potencia se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Número de equipos en tarifa 9 por intervalo de eficiencia y de potencias.

| Intervalos de potencias kW (CP) | Intervalos de eficiencia (%) |               |              |              | Número de equipos |
|---------------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|-------------------|
|                                 | ≤ 40                         | > 40 - 50     | > 50 - 60    | > 60         |                   |
|                                 | Eficiencia promedio (%)      |               |              |              |                   |
|                                 | 29.8                         | 44.7          | 54.8         | 68.4         |                   |
|                                 | Cantidad de equipos          |               |              |              |                   |
| 5.6 - 14.9 (7.5-20)             | 1 030                        | 639           | 165          | 227          | 2 061             |
| 15.7 - 37.3 (21-50)             | 5 945                        | 2 286         | 1 486        | 1 715        | 11 432            |
| 38.0 - 93.3 (51-125)            | 18 224                       | 10 092        | 5 530        | 5 507        | 39 353            |
| 94.0 - 261 (125-350)            | 4 162                        | 1 975         | 1 564        | 1 921        | 9 622             |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>29 361</b>                | <b>14 992</b> | <b>8 745</b> | <b>9 370</b> | <b>62 468</b>     |

De las estadísticas que tiene registradas la CNA, los promedios nacionales de carga de bombeo y caudal son 74 m y 35.4 l/s, respectivamente, con un total de horas de bombeo al año de 2 360. Los equipos que cubren estos valores promedio son aquellos que tienen una potencia superior a los 50 CP, por lo que, el número de equipos con eficiencias inferiores al 40% asciende a 22 500.

## 2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA ELECTROMECHANICA DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO.

El objetivo de esta sección es proporcionar un resumen de los principales factores que influyen en la eficiencia de un sistema de bombeo. Para más información se debe recurrir al Manual de Rehabilitación de Pozos III.2.1, editado por la CNA [3].

En la tabla 3 se muestran las principales causas del mal funcionamiento de los sistemas de bombeo agrupadas en 4: defectos de diseño, defectos constructivos, defectos operacionales y problemas regionales.

Los defectos de diseño se dan cuando no se toman en cuenta las condiciones geohidrológicas regionales, encontradas durante la propia exploración o los requerimientos de la obra.

Los defectos constructivos como su nombre lo indica, se deben a los procedimientos constructivos inadecuados durante la erección de la obra.

Por lo que respecta a los defectos operacionales, estos requieren de una observación sistemática y cotidiana de las condiciones de operación del sistema pozo-bomba. Aún cuando ésta se lleve a cabo, la costumbre ocasiona, a veces, negligencia en la verificación o en el análisis de información, lo que provoca que los problemas se presenten en forma inesperada, aunque se manifiesten con anterioridad síntomas indicativos de falias. La capacitación del personal en operación y mantenimiento resulta la clave para una correcta operación.

Finalmente, las causas regionales se refieren a los problemas con las condiciones naturales, aunque en algunos casos pueden ser originadas por el hombre, por ejemplo: los abatimientos regionales de niveles freáticos, provocados por el sobrebombeo.

Tabla 3. Factores que influyen en la eficiencia del sistema de bombeo.

| GRUPO                  | Causas de ineficiencia de los sistemas de bombeo   |
|------------------------|--|
| DEFECTOS DE DISEÑO     | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Pozos incompletos</li> <li>. Cedazo<sup>3</sup> en exceso</li> <li>. Falta de cedazo</li> <li>. Información litológica<sup>4</sup> inadecuada</li> <li>. Filtro granular o cedazo mal diseñado</li> <li>. Aforo<sup>5</sup> mal realizado o interpretado</li> <li>. Selección inadecuada de bomba-motor</li> <li>. Protección sanitaria o química defectuosa</li> </ul> |
| DEFECTOS CONSTRUCTIVOS | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Fluidos de perforación inadecuados</li> <li>. Falta de desarrollo del pozo</li> <li>. Filtro granular mal colocado</li> <li>. Defectos en la colocación del ademe</li> <li>. Falta de verticalidad del pozo</li> <li>. Materiales defectuosos o inadecuados</li> </ul>  |
| DEFECTOS OPERACIONALES | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Falta de mantenimiento del pozo</li> <li>. Falta de mantenimiento del equipo electromecánico</li> <li>. Falta de reposición del filtro granular</li> <li>. Arranques y paros frecuentes del equipo</li> </ul>   |
| PROBLEMAS REGIONALES   | <ul style="list-style-type: none"> <li>. Aguas corrosivas</li> <li>. Aguas incrustantes</li> <li>. Bacterias ferruginosas</li> <li>. Abatimientos regionales de los niveles freáticos</li> </ul>   |

### 3. PROPUESTA DE VALORES MÍNIMOS DE OPERACIÓN.

Las eficiencias actuales de los conjuntos bomba-motor eléctrico en el mercado nacional, para los intervalos de potencia de interés tienen los valores promedio mostrados en la tabla 4.

<sup>3</sup>Cedazo. Ademe (revestimiento de las paredes del pozo para evitar su caída) con aberturas de forma, tamaño y espaciamiento diseñado en función de las características del acuífero, que permite el paso del agua al interior del pozo.

<sup>4</sup>Litología. Rama de la petrografía que estudia y describe las rocas sedimentarias.

<sup>5</sup>Prueba de bombeo a caudal variable para establecer el caudal óptimo de explotación de un pozo.

Tabla 4. Valores de eficiencia promedio del conjunto bomba tipo turbina-motor.

| Intervalo de potencias<br>kW (CP) | Eficiencia del conjunto (%) |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 5.6 - 14.9 (7.5 - 20)             | 64.0                        |
| 15.7 - 37.3 (21 - 50)             | 70.8                        |
| 38 - 93.3 (51 - 125)              | 74.9                        |
| 94 - 261 (125 - 350)              | 78.0                        |

Estas eficiencias del conjunto son para equipos nuevos y en condiciones de operación óptimas, sin embargo, la experiencia del personal de la CNA y los propios fabricantes indican que en operación estos valores se ven reducidos en algunos puntos porcentuales, y para establecer los valores mínimos aceptados por este Comité de Normalización se proponen los siguientes:

Tabla 5. Valores mínimos de operación en sistemas de bombeo.

| Intervalo de potencias |           | Eficiencia electro-mecánica (%) |
|------------------------|-----------|---------------------------------|
| kW                     | CP        |                                 |
| 5.6 - 14.9             | 7.5 - 20  | 52                              |
| 15.7 - 37.3            | 21 - 50   | 56                              |
| 38.0 - 93.3            | 51 - 125  | 60                              |
| 94.0 - 261             | 125 - 350 | 64                              |

Dentro de éstos valores se considera que los equipos pueden estar operando fuera del punto de diseño, que existan variaciones en las condiciones de operación originales, así como, la exactitud de la instrumentación y calificación del personal que lleva a cabo la prueba para la determinación de la eficiencia.

Por otro lado, con los resultados del programa de uso eficiente del agua y la energía eléctrica de la CNA, se ha observado que para que las inversiones en la rehabilitación

de equipos sea rentable, los valores de eficiencia deberán ser bajos y con base en un análisis económico, se determinó que la rentabilidad es adecuada cuando las eficiencias de operación son del 40% o inferiores e incrementado los valores en la rehabilitación, como mínimo, 20 puntos porcentuales.

En resumen, se propone que cualquier sistema de bombeo que utilice la energía eléctrica como medio energético para sus fines y que, derivado del diagnóstico de eficiencia electromecánica, resulte menor o igual al 40% en forma combinada, esto es del conjunto bomba-motor, deberá efectuarse una rehabilitación o sustitución, con el propósito de levantar su eficiencia a los niveles establecidos en la tabla 5 como mínimo.

Las acciones de rehabilitación o sustitución podrán estar dirigidas al motor eléctrico, la bomba, a la estructura del pozo profundo o una combinación de estos, según sea el caso, de tal forma que el conjunto de estas den como resultado los valores de eficiencia electromecánica establecidos en la tabla 5.

#### 4. BASES PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.

El análisis beneficio-costos evalúa todos los impactos favorables y desfavorables para la sociedad en su conjunto, generados al realizarse un proyecto. Para el caso del anteproyecto de norma analizado aquí, la SEMIP elaboró la siguiente guía de evaluación, la cual se presenta a continuación.

##### 4.1 Datos del Comité Consultivo Nacional de Normalización.

###### 4.1.1 Denominación.

Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y el Uso Racional de los Recursos Energéticos.

###### 4.1.2 Dependencia que preside el Comité.

Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.

###### 4.1.3 Institución promotora del anteproyecto de norma.

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.

## 4.2 Descripción del proyecto de Norma Oficial Mexicana.

### 4.2.1 Título.

Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.

### 4.2.2 Finalidad del proyecto.

El proyecto de Norma se orienta a reglamentar las condiciones que permiten obtener ahorros en el consumo de energía eléctrica al evitar la operación de sistemas de bombeo con baja eficiencia.

### 4.2.3 Objetivo específico.

Establecer los valores mínimos de eficiencia energética que deben cumplir el conjunto bomba tipo turbina-motor de inducción trifásico, instalados en campo.

### 4.2.4 Razón científica, técnica y/o de protección al consumidor que justifica la expedición de la norma.

Al establecer esta norma las eficiencias mínimas permisibles de operación, los usuarios obtienen beneficios económicos al reducir su pago por concepto de energía eléctrica; también se contribuye al ahorro nacional en el consumo de combustibles primarios y en consecuencia reducción de las emisiones contaminantes.

### 4.2.5 Elementos esenciales de la norma, incluyendo su campo de aplicación.

Esta norma aplica para los sistemas de bombeo para pozo profundo en operación, cuyo intervalo de potencias va desde 5.5 y hasta 261 kW (7.5-350 CP).

## 4.3 Beneficios.

### 4.3.1 Beneficios cuantificables en términos monetarios que derivan de la aplicación de la Norma Oficial Mexicana.

Para el usuario reducción en el pago al disminuir el consumo de energía eléctrica.

Para el suministrador de energía eléctrica se reducirá la demanda de energía a las horas pico evitándose el incremento de la capacidad instalada y como

consecuencia dejará de realizar nuevas inversiones.

#### 4.3.2 Beneficios no cuantificables que deriven de la aplicación de la Norma Oficial Mexicana.

Se considera que los beneficios no cuantificables están constituidos por la reducción en la contaminación ambiental y los efectos colaterales que esta conlleva.

#### 4.3.3 Supuestos y bases utilizadas para el cálculo de los beneficios que se derivan de la aplicación de la norma.

Para efectos del análisis económico se toma como base un horizonte de 5 años, debido a que, es el tiempo máximo en que los fabricantes de bombas consideran que estas deben recibir un mantenimiento mayor o rehabilitación.

De acuerdo con resultados de la CNA y estimaciones realizadas, el número de equipos instalados que cumplen con las condiciones promedio de operación (carga de bombeo de 75 m y caudal de 35.4 l/s), y que tienen eficiencia electromecánicas de 40% o menores, asciende a 22 500 para el año 1992. Estas bombas están distribuidas en dos intervalos de potencia y su participación se muestra a continuación:

| Intervalo de potencias<br>( CP ) | % de participación de los<br>22 500 pozos susceptibles<br>de rehabilitación. |
|----------------------------------|--|
| 50 -125                          | 80   |
| 126-350                          | 20   |

Además, se propone que el número de equipos por rehabilitar al año sea de 4500, con lo que, el total de equipos se cubrirá en los 5 años que se proponen como vida económica del proyecto.

El factor de simultaneidad o coincidencia<sup>6</sup> en la época de riego lo estima CFE en 80% y de acuerdo al número de horas promedio de operación al año (2360),

---

<sup>6</sup>Porcentaje del total de equipos registrados en la tarifa 9 que operan en las horas pico.

el factor de carga<sup>7</sup> es 27%.

Para los usuarios de la tarifa 9 existen cuatro intervalos de consumo cuyo precio varía; la tabla 6 muestra el precio del kWh y el porcentaje de participación del total de equipos en cada uno de los intervalos de consumo.

Tabla 6. Precios de la energía por intervalo de consumo y porcentaje de participación de la población total de equipos (tarifa 9).

| Intervalo de consumo<br>kWh/mes | Precio de la energía<br>N\$/kWh <sup>8</sup> | % de participación en<br>la población total de<br>equipos. |
|---------------------------------|--|--|
| 1 - 5 000                       | 0.10191                                      | 30   |
| 5 001 - 15 000                  | 0.12183                                      | 45   |
| 15 001 - 35 000                 | 0.13446                                      | 14   |
| > 35 000                        | 0.14930                                      | 11   |

Además, los siguientes costos también son considerados para la evaluación económica para CFE:

|                      |        |         |
|----------------------|--------|---------|
| Costo de la energía: | 0.1816 | N\$/kWh |
| Costo de potencia:   | 242.09 | N\$/kW  |
| Tipo de cambio:      | 3.3624 | N\$/USD |

#### 4.3.4 Enunciar personas o grupos que se beneficiarán.

Se beneficiarán los usuarios de sistemas de bombeo de pozo profundo (agua potable o para riego), además, el suministrador de energía eléctrica (disminuye la demanda de potencia para CFE) y el país al reducirse el consumo de energéticos primarios y las emisiones contaminantes.

<sup>7</sup>Horas de operación del equipo al año entre el total de horas por año (8 760).

<sup>8</sup>Precios proporcionados por CFE en marzo de 1994

#### 4.4 Costos.

##### 4.4.1 Costos cuantificables que se derivan de la aplicación de la Norma Oficial Mexicana.

###### 4.4.1.1 Costos públicos.

En este renglón se consideran los costos que se derivan de las inspecciones inicial y final para comprobación de la eficiencia antes y después de la rehabilitación.

Con base en valores erogados por este concepto por la CNA, se estimó un valor de ambas inspecciones de 2 025 N\$ por pozo, este costo incluye renta de equipo para la realización de las mediciones, salarios, transportación y viáticos del personal participante en el diagnóstico.

###### 4.4.1.2 Costos privados.

Este costo corresponde al monto de la inversión para la rehabilitación y/o sustitución del equipo y que de acuerdo con la experiencia de la CNA, en rehabilitaciones realizadas a 185 pozos, el costo asciende a 85 500 N\$/pozo (aproximadamente 880 N\$/m de carga).

##### 4.4.2 Costos no cuantificables en términos monetarios derivados de la aplicación de la norma.

Para este caso no fueron considerados.

##### 4.4.3 Supuestos y bases para el cálculo de los costos que se derivan de la aplicación de la norma.

Los costos de las inspecciones inicial y final, así como el de rehabilitación, indicados anteriormente, están basados en datos reales proporcionados por la CNA y que a su vez están soportados en las rehabilitaciones de 4 761 pozos realizadas hasta 1993 dentro del programa de uso eficiente del agua y la energía eléctrica.

#### 4.5 Beneficios netos potenciales (beneficios menos costos).

En el inciso 5.1 de este documento se anexan los resultados de la evaluación realizada con el modelo económico desarrollado por el departamento de Uso de Energía Eléctrica

del Instituto de Investigaciones Eléctricas, revisado y aprobado por la CFE.

#### **4.6 Justificación de la emisión de la Norma Oficial Mexicana como mejor alternativa.**

La emisión de esta Norma Oficial Mexicana representa una opción simple, práctica y efectiva para conseguir un ahorro de energía considerable en la extracción de agua del subsuelo. De los resultados del análisis de factibilidad podemos observar que si los equipos de bombeo se mantienen en los niveles de eficiencia propuestos estamos hablando de evitar la instalación de alrededor de 1 026 MW en los próximos 5 años y una reducción en consumo de energía de 8 656 307 MWh.

##### **4.6.1 Otras alternativas consideradas.**

Una alternativa viable para lograr el objetivo planteado es concientizar a los fabricantes para que produzcan sus equipos con mayor eficiencia y empleen materiales de mayor calidad, así como, proporcionar a los usuarios finales y/o operadores de los sistemas de bombeo, capacitación adecuada en el mantenimiento, operación y vigilancia de las eficiencias de sus equipos.

### **5. EVALUACIÓN BENEFICIO-COSTO.**

Esta evaluación está basada en un modelo económico desarrollado por el Departamento de Uso de Energía Eléctrica del IIE y que está basado en el indicador económico Valor Presente Neto (VPN), los resultados del análisis se muestran a continuación.

#### **5.1 Resultados de la evaluación económica.**

Los resultados de la evaluación económica se encuentran en el anexo 1.

#### **5.2 Análisis de sensibilidad.**

El análisis de sensibilidad presentado tiene como objetivo valorar el efecto en el parámetro económico Valor Presente Neto (VPN) al modificar solo una de las variables manteniendo constantes las restantes. El comportamiento se muestra mas claramente en la gráfica mostrada en la figura 3 y los valores numéricos del VPN están en la tabla 7.

Tabla 7. Comportamiento del VPN con la variación de diferentes parámetros.

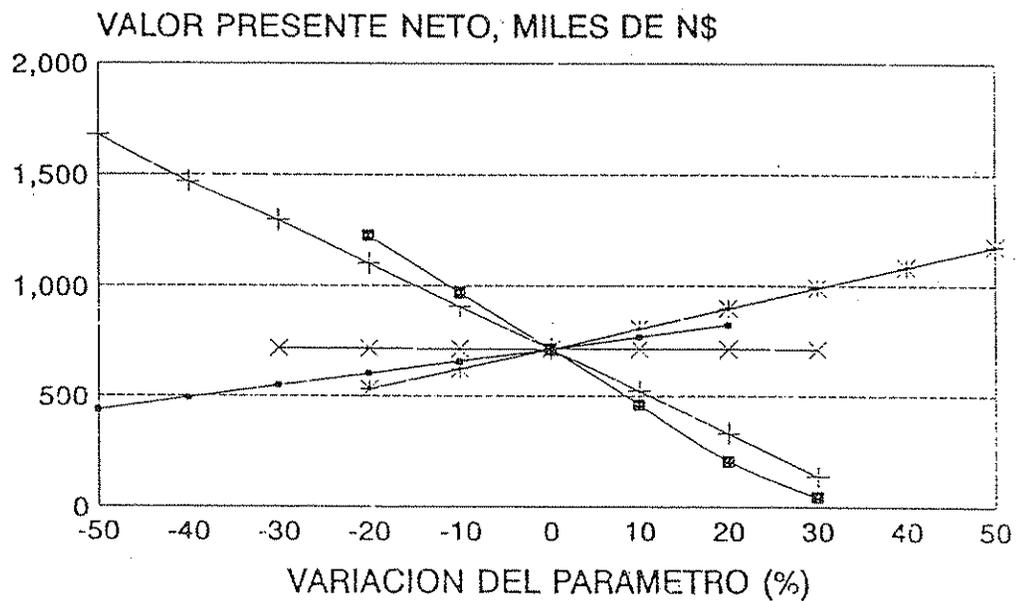
| Variación del parámetro % | Valor Presente Neto (VPN) Miles de N\$ <sup>9</sup> |                                  |   |   |                              |
|---------------------------|---|----------------------------------|---|---|------------------------------|
|                           | Factor de coincidencia 80 %                         | Inversión inicial 85.5 MN\$/pozo | Precio de la energía eléctrica Tarifa 9 <sup>10</sup> | Consumo de energía mejorado <sup>11</sup> | Costo público 2 025 N\$/pozo |
| -50                       | 438 799   | 1 678 810                        | ----  | ----                                      | ----                         |
| -40                       | 494 427   | 1 468 435                        | ----  | ----                                      | ----                         |
| -30                       | 550 054   | 1 294 060                        | ----  | ----                                      | 719 468                      |
| -20                       | 605 681   | 1 101 685                        | 533 160   | 1 226 918                                 | 718 624                      |
| -10                       | 661 308   | 909 310                          | 625 047   | 971 927                                   | 717 780                      |
| 0                         | 716 935   | 716 935                          | 716 935   | 716 935                                   | 716 935                      |
| 10                        | 772 562   | 524 560                          | 808 823   | 461 944                                   | 716 091                      |
| 20                        | 828 189   | 332 185                          | 900 711   | 206 952                                   | 715 246                      |
| 30                        | ----  | 139 810                          | 992 598   | 48 039                                    | 714 402                      |
| 40                        | ----  | ----                             | 1 084 486   | ----                                      | ----                         |
| 50                        | ----  | ----                             | 1 176 374   | ----                                      | ----                         |

<sup>9</sup>Los valores empleados en el análisis económico son promedio a nivel nacional: H = 74m, qv = 35.4 l/s, tiempo de bombeo anual = 2 360 horas.

<sup>10</sup>Ver tabla 6 de este documento

<sup>11</sup>Eficiencia actual 29%; eficiencia para consumo mejorado 60% para equipos con potencia entre 51-125 CP y 64% para bombas con potencia entre 126-350 CP.

**FIGURA 3. ANALISIS DE SENSIBILIDAD**  
**EFICIENCIA ENERGETICA EN EQUIPOS ELECTROMECHANICOS EN OPERACION**



→ F. Simultaneidad      + Inversión Inicial      \* Energía Eléctrica  
 ▣ Con. energía mejorado      × Costo Público

## 6. CONCLUSIONES.

El resultado global del análisis económico arroja resultados favorables, esto es, CFE y el País obtienen resultados atractivos. Se obtiene un VPN (beneficio neto total) de 716 935 miles de nuevos pesos.

Para el usuario el VPN es negativo por lo que, es necesario buscar mecanismos para que la inversión le resulte atractiva. Por el momento, en el programa de uso eficiente del agua y la energía eléctrica de la CNA, el gobierno federal aporta un 50% que hasta por 100 000 N\$ aplique el usuario en rehabilitar el pozo y su respectivo sistema de bombeo, además, la mayoría de los gobiernos estatales decidieron apoyar con un 25% restándole solo al usuario un 25% de inversión. Es decir, en promedio el usuario invertiría 21 375 N\$/pozo, con lo cual, el resultado del análisis económico (VPN para el usuario) es también positivo e igual a 952 222 miles de N\$.

Del análisis de sensibilidad podemos observar que los factores que impactan en mayor medida al análisis económico son la inversión inicial (costo de rehabilitación) y la cantidad de energía ahorrada. Por su parte, el factor que menos impacto tiene es el costo público.

Finalmente las cifras referentes al ahorro de energía y de potencia en los próximos 5 años para CFE son: 8 656 307 MWh y 1 026 MW, respectivamente.

## REFERENCIAS.

1. Reyes Filio, Miguel A., Propuesta de laboratorio de pruebas de acuerdo con la demanda del equipo de bombeo del sector agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Certificación de Equipos y Materiales, marzo de 1993.
2. Comisión Nacional del Agua, Uso eficiente del agua y la energía eléctrica, Unidades de Riego para el Desarrollo Rural, febrero de 1993.
3. Comisión Nacional del Agua, Rehabilitación de pozos III.2.1, Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, febrero de 1993.
4. Comisión Nacional del Agua, Riego por bombeo agrícola, Subdirección General de Infraestructura Hidrológica, Coordinación de Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica, enero de 1994.
5. Comisión Nacional de Normalización, Guía para la evaluación Costo-Beneficio de los anteproyectos de norma.

ANEXO 1

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.



PRECIOS INCREMENTALES  
(MILES DE N\$)

| MODELOS                | MONTO   | PERIODO |         | MONTO  | PERIODO |         |
|------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
|                        |         | ENTRADA | ENTRADA |        | ENTRADA | ENTRADA |
| A 125 CP               | 85.5000 | 0       | 0       | 0.0000 | 0       | 0       |
| A 350 CP               | 85.5000 | 0       | 0       | 0.0000 | 0       | 0       |
| TOTAL                  |         | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       |
| CASA CRECIMIENTO ANUAL |         |         |         |        |         |         |
|                        |         | 1.000   | 1.000   | 4.500  | 1.000   | 1.000   |
|                        |         | 4.500   | 4.500   | 4.500  | 4.500   | 4.500   |
| CICLO DE PRODUCTOS     |         |         |         |        |         |         |
| A 125 CP               |         | 0.800   | 0.800   | 0.800  | 0.800   | 0.800   |
| A 350 CP               |         | 0.200   | 0.200   | 0.200  | 0.200   | 0.200   |
| TOTAL                  |         | 1.000   | 1.000   | 1.000  | 1.000   | 1.000   |

TOTALES

|            |        |       |       |       |       |       |
|------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PRODUCCION | 22.500 | 4.500 | 4.500 | 4.500 | 4.500 | 4.500 |
| A 125 CP   | 18.000 | 3.600 | 3.600 | 3.600 | 3.600 | 3.600 |
| A 350 CP   | 4.500  | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   |

ANALISIS CFE

|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---|---|---|---|---|
|--|---|---|---|---|---|

TOTALES

|                      |            |           |           |           |           |            |
|----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| A 125 CP             | 2.280,223  | 456,045   | 456,045   | 456,045   | 456,045   | 456,045    |
| A 350 CP             | 605,212    | 121,042   | 121,042   | 121,042   | 121,042   | 121,042    |
| MWh ANUALES          | 8.656,907  | 577,087   | 1.154,174 | 1.731,261 | 2.308,348 | 2.885,436  |
| MW ANUALES           | 1,026      | 205       | 410       | 615       | 820       | 1,026      |
| BENEF. ENERG. PROY   | 1.173,980  | 104,801   | 187,114   | 250,640   | 208,381   | 333,014    |
| BENEF. POTEN. PROY   | 556,271    | 49,858    | 88,675    | 118,762   | 141,383   | 157,793    |
| REDUC. INGR. PROY    | 403,734    | 57,067    | 101,906   | 90,987    | 81,239    | 72,535     |
| BENEF. ELEC. PROY.   | 1.325,518  | 97,392    | 173,914   | 278,414   | 358,525   | 418,273    |
| C. EMISION CO2 (ton) | 6.059,415  | 403,931   | 807,922   | 1.211,883 | 1.615,844 | 2.019,805  |
| C. CONS. AGUA (m3)   | 31.162,704 | 2.077,514 | 4.155,027 | 6.232,541 | 8.310,054 | 10.387,568 |
| COMBUST (barrel)     | 15.927,604 | 1.061,840 | 2.123,681 | 3.185,521 | 4.247,361 | 5.309,201  |

| ANALISIS USUARIOS      | (MILES DE N\$) |          |           |           |           |
|------------------------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | 0              | 1        | 2         | 3         | 4         |
| REDUCCION DE CONSUMO   |                |          |           |           |           |
| TOTALES                |                |          |           |           |           |
| 120 A 125 CP           | 373,807        | 373,807  | 373,807   | 373,807   | 373,807   |
| 126 A 350 CP           | 99,215         | 99,215   | 99,215    | 99,215    | 99,215    |
| AHORRO ANUAL EN MWh    | 473,022        | 946,044  | 1,419,067 | 1,892,089 | 2,365,111 |
| /PN IMPOR. APAR. EFIC. | 423,225        | 423,225  | 423,225   | 423,225   | 423,225   |
| /PN AHORRO CONSUMIDOR  | 398,787        | 336,013  | 202,815   | 237,732   | 199,525   |
| /PN BENEFICIO NETO     | (24,438)       | (67,212) | (140,410) | (185,493) | (223,700) |
| /PN COSTO PUBLICO      | (51,670)       | (6,087)  | (11,091)  | (15,342)  | (18,953)  |
| /PN BENEF. NETO TOTAL  | 716,935        | 92,790   | 149,095   | 188,373   | 213,527   |